

VŠB - Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie

Návrh technologie výroby součásti ve společnosti

NOVOGEAR, spol. s r.o

The Proposal of Production Technology of Component in
Company NOVOGEAR, spol. s r.o.

Student:

Lukáš Blažek

Vedoucí bakalářské práce:

doc. Ing. et Ing. Mgr. Jana Petrů, Ph.D.

Ostrava 2016

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie

Zadání bakalářské práce

Student: **Lukáš Blažek**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2303R002 Strojírenská technologie
Téma: **Návrh technologie výroby součástí ve společnosti NOVOGEAR, spol. s r.o.**
The Proposal of Production Technology of Component in Company NOVOGEAR, spol. s r.o.

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Úvod do problematiky výroby ozubených součástí.
2. Návrh postupu výroby zadané součásti.
3. Realizace výroby součástí.
4. Technicko-ekonomické zhodnocení návrhu.
5. Závěr.

Seznam doporučené odborné literatury:


- [1] BRYCHTA, J.; ČEP, R.; SADÍLEK, M.; PETŘKOVSKÁ, L.; NOVÁKOVÁ, J. *Nové směry v progresivním obrábění*. Ostrava : Ediční středisko VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2007. Dostupné na <http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/NSPO>. ISBN 978-80-248-1505-3.
- [2] HUMÁR, A. *Materiály pro řezné nástroje*. Brno : MM Publishing Praha, 2008, 235 s. ISBN 978-80-254-2250-2.
- [3] SHAW, Milton C. *Metal Cutting Principles*. 2nd edition. New York : Oxford University Press, 2005. 651. p. ISBN 0-19-514206-3.
- [4] STEPHENSON, D. A.; AGAPIOU, J. S. *Metal cutting theory and practice*. New York : Marcel Dekker, Inc., 1997. ISBN 0-8247-9579-2.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing.et Ing.Mgr. Jana Petrů, Ph.D.**


Datum zadání: 11.12.2015

Datum odevzdání: 16.05.2016



doc. Ing.et Ing.Mgr. Jana Petrů, Ph.D.
vedoucí katedry





doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucí bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 16. 5. 2016

Blahy
.....
podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 16.5.2016


.....
podpis studenta

Lukáš Blažek
Palkovice 664
739 41 Palkovice

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

BLAŽEK, L. *Návrh technologie výroby součásti ve společnosti NOVOGEAR, spol. s r.o.: Bakalářská práce.* Ostrava: VŠB - Technická universita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie, 2016, 50 s. Vedoucí práce: doc. Ing. et Ing. Mgr. Jana Petřů, Ph.D.

Práce se zabývá návrhem nové technologie výroby ozubeného kola pro obráběcí stroj. První část práce popisuje vyráběnou součást a s tím spojenou problematikou výroby čelního ozubení. Další část práce obsahuje informace o materiálu součásti, polotovaru a jeho tepelném zpracování, použitými stroji a nástroji. Ve zbytku práce je řešen výrobní postup součásti a následné technicko-ekonomické zhodnocení návrhu. Nový výrobní postup součásti byl použit ve výrobě a pomocí tohoto postupu bylo vyrobeno 10 ozubených kol.

BLAŽEK, L. *The Proposal of Production Technology of Component in Company NOVOGEAR, spol. s r.o.: Bachelor Thesis.* Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering. Department of Machining, Assembly and Engineering Metrology, 2016, p. Thesis head doc. Ing. et Ing. Mgr. Jana Petřů, Ph.D.

This thesis deals with the proposal of production technology. The first part describes the produced part and the problems connected with production of gear wheels. The second part contains information about material used for this part, the semi-finished product and his heat treatment and the machine tools and the tools used for production . The last part of my thesis is devoted to the proposal of production technology of this part and to technical and ecomical evaluation of this plan. This new proposal was used in the real production and ten pieces of gear wheels were produced.



SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZNAČEK	- 7 -
ÚVOD	- 8 -
1. ÚVOD DO PROBLEMATIKY VÝROBY OZUBENÝCH SOUČÁSTÍ.....	- 9 -
1.1 Charakteristika a rozdělení ozubených kol	- 9 -
1.2 Výroba čelních ozubených kol	- 10 -
1.2.1 Výroba ozubení frézováním	- 10 -
1.2.2 Výroba ozubení obrážením	- 12 -
1.2.3 Výroba ozubení protahováním	- 14 -
1.3 Dokončování operace výroby ozubení.....	- 14 -
1.3.1 Dokončování ozubení ševingováním.....	- 14 -
1.3.2 Dokončování ozubení broušením	- 15 -
1.3.3 Dokončování ozubení honováním	- 16 -
1.3.4 Dokončování ozubení lapováním.....	- 17 -
2. NÁVRH POSTUPU VÝROBY ZADANÉ SOUČÁSTI	- 18 -
2.1 Představení podniku	- 18 -
2.2 Výrobek	- 18 -
2.3 Polotovary.....	- 19 -
2.4 Materiál výrobku.....	- 19 -
2.5 Tepelné zpracování výrobku	- 20 -
2.6 Použité stroje	- 21 -
2.7 Použité nástroje	- 25 -
2.8 Obecný postup výroby součásti	- 29 -
3. REALIZACE VÝROBY	- 31 -
4. TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ VÝROBY	- 40 -
5. ZÁVĚR	- 45 -
SEZNAM OBRÁZKŮ	- 46 -
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	- 48 -
SEZNAM PŘÍLOH	- 50 -

Seznam použitých symbolů a značek

Značení	Význam	Jednotka
A	Tažnost	[%]
A_{c1}	Překrystalizační teplota	[°C]
A_{c3}	Překrystalizační teplota	[°C]
β_0	Sklon zubů	[°]
ČSN	Česká státní norma	[-]
d	Délka VBD	[mm]
d_1	Upínací průměr VBD	[mm]
DIN	Německá norma	[-]
HRC	Tvrdost dle Rockwella	[-]
ISO	Mezinárodní norma	[-]
KCU	Nárazová práce	[J·cm ⁻²]
IT	Stupeň přesnosti	[-]
f_a	Axiální posuv na otáčku	[mm]
f_R	Radiální posuv na otáčku	[mm]
f_r	Přísuv	[mm]
h	Výška nástroje	[mm]
l	Šířka VBD	[mm]
L	Délka nástroje	[mm]
n_n	Otáčky nástroje	[min ⁻¹]
n_0	Otáčky obrobku	[min ⁻¹]
r_ϵ	Rádus špičky	[mm]
R_m	Mez pevnosti	[MPa]
$R_p 0,2$	Smluvní mez kluzu	[MPa]
s	Výška VBD	[mm]
s_z	Výška záběru	[mm]
v_c	Řezná rychlost	[m·min ⁻¹]
v_z	Zpětná rychlost	[m·min ⁻¹]
Z	Kontrakce	[%]



ÚVOD

V této bakalářské práci je řešen kompletní postup výroby čelního ozubeného kola, ve spolupráci s firmou Novogear, pro zákazníka Deckel Maho Gildemeister. DMG Mori je jednou z největších firem produkujících stroje pro kovoobráběcí průmysl. Tato německo-japonská firma DMG se zabývá výrobou přesných obráběcích, zejména soustružnických a frézovacích strojů a center. Cílem této práce je navržení nového kompletního postupu výroby součásti pro obráběcí stroj.

V první části práce jsou teoreticky popsány způsoby výroby čelního ozubení, jak hrubovací, tak i dokončovací operace. V další části práce je popsán návrh postupu výroby zadané součásti. Je zde vysvětleno, z jakého materiálu je výrobek zhotoven, co je polotovarem pro výrobu součásti, jak je polotovar i samotný výrobek tepelně zpracován a jaké jsou použity stroje a nástroje pro výrobu součásti. V třetí části práce je detailně popsán výrobní postup součásti. Jaké stroje, nástroje a měřicí přístroje jsou používány u dané operace, řezné podmínky u obráběcích operací a celkový postup realizace dané operace. V poslední části práce je uvedeno technicko-ekonomické zhodnocení výroby pro jeden kus a pro celkovou zakázku deseti kusů požadovaných zákazníkem.

1. ÚVOD DO PROBLEMATIKY VÝROBY OZUBENÝCH SOUČÁSTÍ

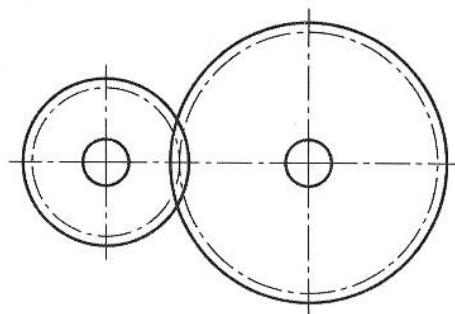
Výroba ozubení je jednou z nejvíce náročných operací v odvětví strojírenské výroby. Jedná se o výrobu složitých tvarových ploch za pomoci speciálních strojů a nástrojů. Ozubení může být vyrobeno různými technologiemi, které se od sebe liší různou produktivitou práce, přesností, náročností i nákladností výroby.

1.1 Charakteristika a rozdělení ozubených kol

Ozubené kolo je součást, na jejímž obvodu se nachází zuby, které přesně zapadají do druhého ozubeného kola. Pomocí těchto zubů dochází k tvarovému styku mezi těmito koly a dochází k přenosu točivého pohybu s přenosem krouticího momentu. Obě tyto kola tvoří dohromady soukolí. Tato ozubená kola jsou používána převážně pro změnu otáček ve strojních zařízeních.

Charakteristika ozubených kol

- výrobně složité
- schopnost přenášet velké točivé momenty
- malé ztráty
- velká účinnost a živostnost
- hlučné, netlumí rázy
- spolehlivé



Obr. 1. Čelní soukolí

Rozdělení ozubených kol

Dle polohy os:

- s rovnoběžnými osami
 - s vnitřním ozubením
 - s vnějším ozubením
- s různoběžnými osami
- s mimoběžnými osami

Dle typů zubů:

- čelní kola: s přímými, šikmými, šípovitými, zakřivenými zuby
- kuželová kola: s přímými, šikmými, šípovitými, zakřivenými zuby

Dle kinetických poměrů:

- valivá soukolí
- šroubová soukolí

1.2 Výroba čelních ozubených kol

Výrobně složitý proces, tvar i rozměry ozubeného kola musí být velice přesné, aby byla zajištěna správná funkce soukolí. Ozubené kola jsou vyráběna několika způsoby s různou produktivitou, složitostí a přesností výroby a náklady na výrobu.

Výrobní technologie výroby ozubení

- 1) frézování
- 2) obrážení
- 3) protahování

Dokončovací technologie výroby ozubení

- 1) ševingování
- 2) broušení
- 3) honování
- 4) lapování

1.2.1 Výroba ozubení frézováním

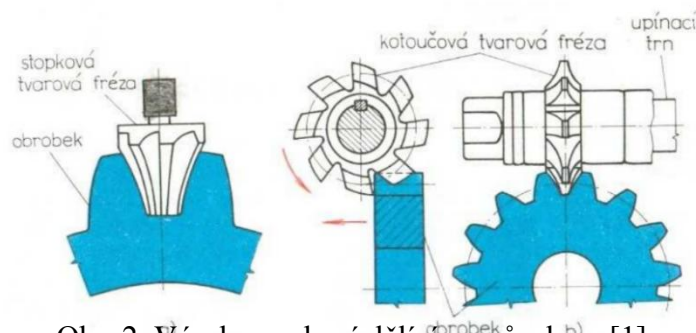
- Kotoučovou nebo čepovou frézou dělicím způsobem
- Odvalovací frézou

Výroba ozubení kotoučovou frézou dělicím způsobem

Hlavní řezný pohyb je vykonáván kotoučovou/čepovou frézou, které se otáčí řeznou rychlostí kolem své osy. Obrobek je upnut v dělicím přístroji, který vždy pootočí obrobek po vytvoření zubové mezery o přesnou vzdálenost (o jeden zub) a dochází k vyfrézování

další mezery. Takto se obrobek otočí o 360° , aby došlo k vytvoření ozubení po celém obvodu obrobku. Dráha frézy musí být při výrobě přímého ozubení rovnoběžná a být v ose obrobku, aby nedošlo k vyosení zubů. Při výrobě šikmého ozubení je fréza vykloněná o určitý úhel, pod kterým jsou zuby na kole skloněny. Při výrobě menších modulů ozubení je zubová mezera vytvářena na jeden záběr, při větších modulech je používán hrubovací a následně dokončovací cyklus.

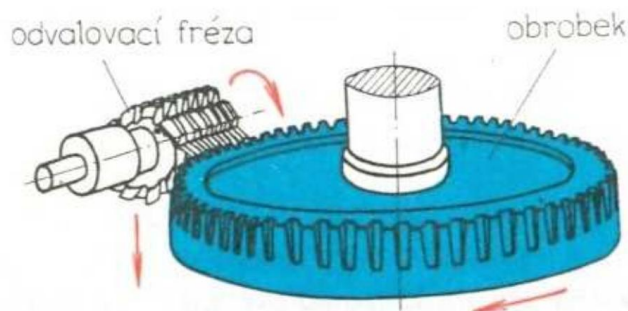
Tato metoda výroby ozubení je jednoduchá, stačí pouze zachovat vertikální a horizontální rovnoběžnost. Výhodou je možnost používání běžných univerzálních frézek. Bohužel tato metoda není příliš přesná z důvodu nepřesnosti dělicího přístroje. Metoda je vhodná pro čelní válcová kola s přímými zuby, šikmými zuby, vnitřními i vnějšími zuby, s šikmými zuby.



Obr. 2. Výroba ozubení dělicím způsobem [1]

Výroba ozubení odvalovacím způsobem

Nejvýhodnější způsob výroby ozubení ze zatím známých technologií výroby ozubení. Tímto způsobem jdou vyrábět pouze čelní válcová kola s evolventním ozubením. Ozubení je vytvářeno tzv. plynulým odvalem a tím zanikají časové ztráty, které jsou při dělicím způsobu nevyhnutelné. Předností této technologie je, že jedním nástrojem lze vyrobít ozubené kolo o libovolném počtu zubů. Při výrobě dochází k odvalování valivé přímky základního hřebene frézy po valivé kružnici ozubeného kola (obdobný způsob jako při záběru šroubového soukolí). Obrobek se pomalu otáčí kolem své osy a na věnci kola se otáčí nástroj řeznou rychlostí kolem své osy (odvalovací fréza). Na nástroji jsou zuby usprádané ve šroubovici a mají negativní tvar zubové mezery. Při výrobě přímého ozubení je nástroj vykloněn o úhel stoupání šroubovice a při výrobě šikmého ozubení je nástroj vykloněn ještě o úhel sklonu zubů. Výhodou této technologie je vysoká produktivita a přesnost výroby. Nevýhodou je speciálního nástroje a drahého stroje. Slouží pro výrobu přímého, šikmého a šnekové ozubení.



Obr. 3. Výroba ozubení odvalovacím způsobem [1]

1.2.2 Výroba ozubení obrážením

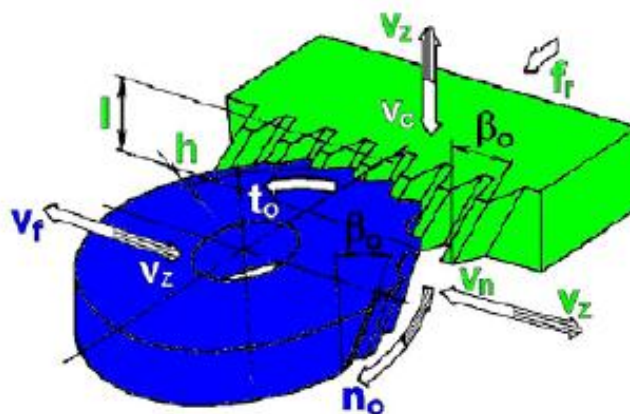
- hřebenovým nožem - metoda MAAG
- kotoučovým nožem - metoda Fellows

Nejčastěji používaný způsob pro výrobu ozubení. Slouží pro výrobu jak vnitřního, tak i vnějšího ozubení. Potřebného odvalování dosáhneme složením otáčivého a přímočarého vratného pohybu. Při výrobě ozubených kol se šikmými zuby, má nástroj zuby skloněné pod úhlem, který požadujeme. Mohou být vyráběna ozubená kola s libovolným počtem zubů. Nástroj používaný při obou metodách, tedy kotoučový a hřebenový nůž, má na sobě zuby, jejichž tvar chceme vytvořit na obrobku.

Výroba ozubení hřebenovým nožem MAAG

Technologie je založená na záběru ozubeného hřebene s ozubeným kolem (obrobkem). Nástroj, upnutý ve smykadle, vykonává hlavní řezný pohyb, pohybuje se řeznou rychlostí přímočarým vratným pohybem. Obrobek koná vedlejší pohyb, tj. otáčí se kolem své osy a tím je dosaženo obrobení celého obvodu součásti. Nástroj je nastaven na požadovanou hloubku zubu a postupným obráběním je vytvořeno ozubení. Při výrobě ozubených kol s šikmými zuby, je nástroj vykloněn ještě o úhel sklonu zubů.

Tato metoda je vhodná pro výrobu ozubených kol korigovaných i nekorigovaných, s šikmými i přímými zuby. I při jednoduchosti nástroje lze dosáhnout, při výrově ozubení hřebenovým nožem, vysoké goniometrické a rozměrové přesnosti. Stupeň přesnosti se pohybuje okolo IT 4-5.

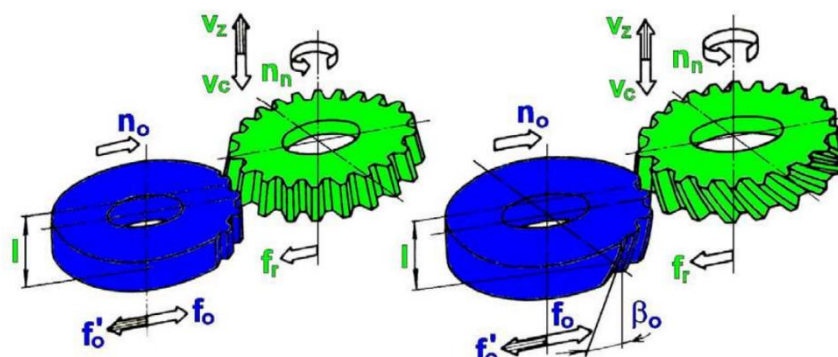


Obr. 4. Výroba ozubení hřebenovým nožem [2]

Výroba ozubení kotoučovým nožem FELLOWS

U této technologie výroby ozubení, dochází k plynulému záběru mezi obrobkem a nástrojem tzn., že obrobek a nástroj se po sobě odvaluje tak, jako když spolu zabírají dvě ozubená kola. Nástroj, který je upnutý ve smykadle, vykonává přímočarý vratný pohyb a zároveň se otáčí kolem své osy, stejně jako obrobek, který se rovněž otáčí kolem své osy. Při vratném cyklu se nástroj od obrobku oddálí, aby nedocházelo ke zhoršení kvality obrobeneé plochy. Při výrobě šikmého ozubení, koná nástroj kromě přímočarého vratného pohybu také přídatný pohyb v podobě rotačního pohybu ve šroubovici pod úhlem sklonu zubů.

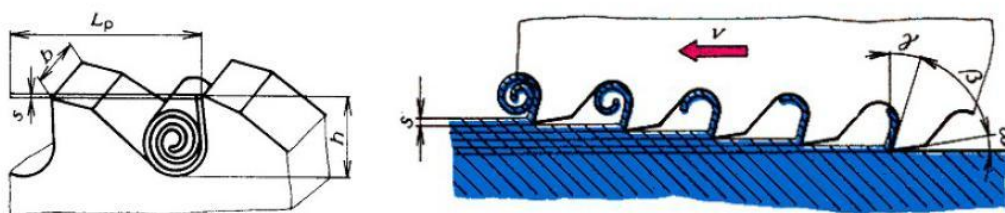
Tuto technologii výroby ozubení lze obrábět vnější, vnitřní, přímé i šikmé ozubení. Metodou Fellows nedosahujeme takové geometrické a rozměrové přesnosti jako při obrábění hřebenovým nožem. U této metody se přesnost pohybuje okolo IT 6-7.



Obr. 5. Výroba ozubení kotoučovým nožem [2]

1.2.3 Výroba ozubení protahováním

Tento způsob výroby ozubení je velice nákladný z pohledu nástroje. Je používán pro výrobu jak vnějšího, tak i vnitřního ozubení v hromadné výrobě. Nástroje se vyznačují velkou životností z důvodu velkého počtu zubů, které jsou od sebe odstupňovány a tím pádem odebírají malou hloubku třísky. Protahovací nástroj (trn) se skládá z řezné části, kterou odebíráme materiál v podobě třísky a z kalibrovací části, která má negativní tvar požadovaných zubů. Nástroje mohou být celistvé z rychlořezné oceli, nebo složené tzn., že trn má břity vyrobené z rychlořezné oceli, které jsou připevněny na tělo nástroje z levnější konstrukční oceli. Při výrobě ozubení touto metodou dosáhneme vysoké přesnosti a kvality povrchu a to i za skutečnosti, že se jedná o nejproduktivnější způsob výroby ozubení.

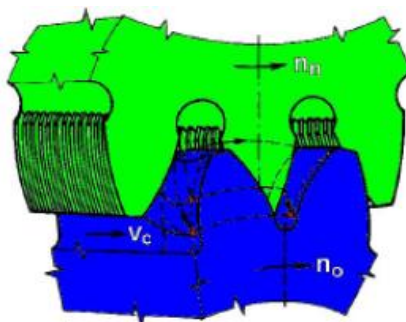


Obr. 6. Výroba ozubení protahováním [2]

1.3 Dokončovací operace výroby ozubení

1.3.1 Ševingování

Jedná se o dokončovací způsob výroby ozubených kol, která jsou vyrobená z nekalené oceli. Při této operaci dochází k úběru velice malé tloušťky třísky okolo 0,0025 mm. Dochází ke zlepšení kvality povrchu, zvýšení rozměrové a geometrické přesnosti. Používaný nástroj má tvar ozubeného kola nebo hřebenu. Tyto nástroje mají na zubech drážky s ostrými hranami (břity), pomocí kterých dochází k úběru materiálu. Při ševingování je styk mezi obrobkem a nástrojem bez vůle, aby docházelo k úběru materiálu. Vzájemný pohyb lze charakterizovat jako záběr šroubového válcového soukolí. Aby docházelo k rovnoměrnému úběru materiálu, musí jedno kolo vykonávat vratný posuvný pohyb. Častěji používaný nástroj je v podobě ozubeného kola, jehož výhodou je levnější a jednodušší výroba, než výroba hřebenu. Pomocí ševingování můžeme dokončovat jak vnější, tak i vnitřní ozubení. Touto metodou lze dosáhnout přesnosti IT 4 a vyšší. Drsnost povrchu se pohybuje v rozmezí od Ra 0,4-0,8 μm .



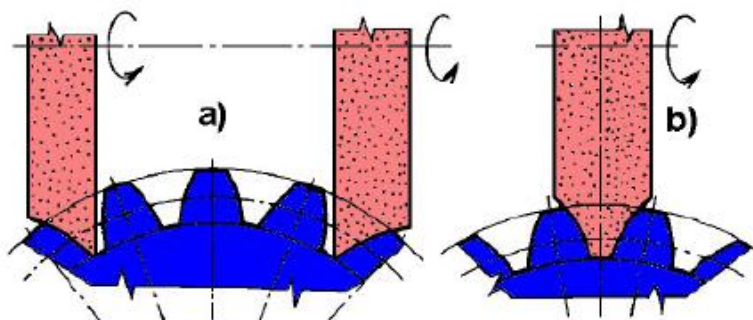
Obr. 7. Dokončování ozubení - ševingování. [2]

1.3.2 Broušení

Pomocí broušení se odstraňují zbytkové nepřesnosti a nedokonalosti povrchu z předchozích operací. Brousit můžeme dvěma způsoby, buď dělicím způsobem, nebo odvalovacím.

Broušení dělicím způsobem

Rozlišujeme 2 způsoby dokončování ozubení dělicím způsobem. První způsob broušení se provádí jedním kotoučem, který má tvar zubové mezery. Kotouč brousí současně obě strany zubové mezery najednou a vytváří tak konečný tvar zubové mezery. Tento způsob dokončování ozubení není příliš přesný ani produktivní. Druhá varianta dělicího způsobu dokončování ozubení je broušení dvěma kotouči. Tyto kotouče mají tvar boku zubu. Jedním kotoučem se brousí pravá strana zubu a druhým kotoučem levá strana zubu a postupným otáčením obrobku dosáhneme obrobení všech boků zubů. Tento způsob je výkonnější a přesnější než broušení jedním kotoučem.



Obr. 8. Dokončování ozubení - broušení dělicím způsobem [2]

a) broušení dvěma kotouči, b) broušení jedním kotoučem

Broušení ozubení odvalovacím způsobem

Tento způsob je velice podobný technologii výroby ozubení odvalovacím frézováním. Dochází k plynulému odvalu třísek z prostoru zubové mezery. Pohyb mezi obrobkem a nástrojem můžeme popsat jako pohyb šnekového soukolí. Nástroj se otáčí kolem své osy řeznou rychlostí a postupně se pohybuje po celé šířce ozubení. Obrobek se také otáčí kolem své osy tak, že se pootočí o jednu zubovou rozteč za jednu otáčku nástroje.

Nutnou podmínkou u této metody je 100% synchronizace pohybu mezi obrobkem a nástrojem, jinak by nedocházelo ke správnému úběru materiálu a došlo by tak k znehodnocení tvaru zubu, a tím i celého ozubeného kola. Tato metoda dokončování zubení je velice náročná na seřízení stroje, ale poskytuje velice přesnou a produktivní výrobu.



Obr. 9. Dokončování ozubení - broušení odvalovacím způsobem [3]

1.3.3 Honování

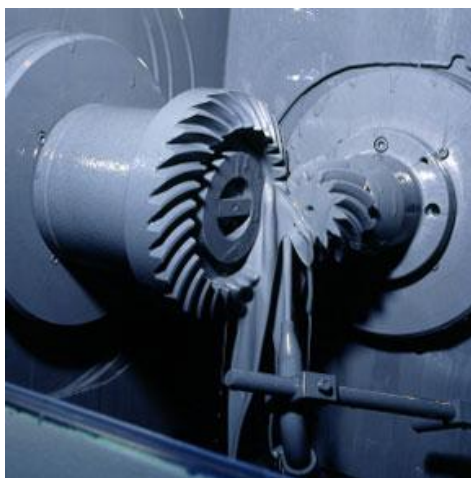
Tato metoda dokončování ozubení je používána v sériové výrobě pro čelní kola s vnějším nebo vnitřním ozubením, která jsou vyráběná z kalené oceli. Jedná se o metodu konečnou, která následuje po ševingování nebo broušení. Tato metoda se používá pro dosažení velmi přesné geometrie zubů a lze dosáhnout drsnosti až $Ra\ 0,2\ \mu m$. Při použití honování zvýšíme přesnost a účinnost převodů a snížíme jejich hlučnost. Nástroj používaný při honování má tvar ozubeného kola, jehož zuby jsou pokryty tenkou diamantovou vrstvou brusiva. Nástroj s obrobkem spolu zabírají a stykem mezi zuby obrobku a nástroje dochází vlivem brusiva, na povrchu nástroje, k úběru materiálu na bocích zubů obrobku.



Obr. 10. Dokončování ozubení - honování [4]

1.3.4 Lapování

Dokončovací technologie používaná pro ozubení, kde je kladen velký důraz na kvalitu povrchu a tvarovou a rozměrovou přesnost. Jedná se o nejproduktivnější dokončovací operaci, která je používána často i po broušení, jelikož nám zaručuje ještě kvalitnější povrch. Provádí se u kalených kol na lapovacích strojích pomocí lapovacího kotouče, jehož zuby jsou totožné se zuby na obrobku. Mezi nástroj a obrobek je vstřikována lapovací pasta, pomocí které dochází k úběru materiálu. Nejprve používáme pasty s větší hrubostí zrna a postupně přecházíme k velmi jemným pastám. Existuje také varianta, při které nemusíme používat speciální lapovací stroj, protože lapování probíhá přímo na kolech, která budou spolu zabírat. Tato metoda se nazývá zabíhání.



Obr. 11. Dokončování ozubení - lapování. [5]

2. NÁVRH POSTUPU VÝROBY ZADANÉ SOUČÁSTI

2.1 Představení podniku

Firma Novogear je dceřinou společností Humbel Gear Technology. Tato společnost je tvořena z pěti firem sídlících ve Švýcarsku, České republice, Německu, Rumunsku a Thajsku. V roce 1928 založil svou rodinnou firmu Zahnradfabrik W. Humbel, ve které byl používán pouze jeden jediný stroj na výrobu ozubení. V průběhu téměř tříčtvrtě století se původně malá rodinná firma rozrůstá natolik, že v roce 1993 dochází k otevření nové firmy Novogear Technologies v České republice. Za 8 let v roce 2001 je otevřen další výrobní závod v Rumunsku. Za několik let úspěšného chodu společnosti dochází v roce 2011 k otevření další obchodní společnosti v Německu a o 2 roky později v roce 2013 v Thajsku.

Samotná firma Novogear spol. s r.o. sídlí ve Frýdku Místku. Patří k největším výrobcům ozubených kol, součástí převodovek a dalších strojních součástí v regionu Severní Moravy. Produkce je z 30 % tvořena exportními dodávkami pro mateřskou firmu HUMBEL ZAHNRÄDER AG, zbytek je dodáván klientům v celé Evropě. V současné době firma zaměstnává 160 zaměstnanců, kteří jsou permanentně školeni a motivováni k dosahování maximální kvality a produktivity výroby. Díky těmto předpokladům a modernímu strojnímu parku jsou schopni realizovat dodávky celého spektra strojních součástí dle přání zákazníka.

2.2 Výrobek

Jedná se o ozubené kolo s čelním vnějším ozubením. Toto ozubené kolo je vyráběno pro obráběcí stroj DMG. Na výrobu kola je používána ocel 18CrNiMo7-6, tedy uhlíková ocel určená pro další tepelné zpracovávání. Kolo má průměr 610,6 mm, šířku 55 mm a 190 zubů skloněných pod úhlem 20°. Zákazník zadal požadavek na výrobu 10 kusů.



Obr. 12. 3D model výrobku

2.3 Polotovary

Výchozím polotovarem pro výrobu kola je kruhová tyč $\varnothing 220$ mm o délce 200 mm. Tyč je kována a rozválcována do tvaru mezikruží. Při kování dochází ke zhuštění materiálu a zlepšení výsledné pevnosti polotovaru. Polotovary jsou kovány s přísadkami pro obrábění. Průměr polotovaru s přísadkami je 624/505 mm, šířka polotovaru je 68 mm. Polotovary jsou tepelně zpracovávány žháním na měkko, tzn. +A již v kovárně a následně dodány do firmy Novogear.

2.4 Materiál výrobku

Přehled vlastností oceli 18CrNiMo7-6									1.6587		
Druh oceli	Středně legovaná ušlechtilá chrom-nikl-molybdenová ocel k cementování										
TDP	ČSN EN 10084										
Drivější označení	17CrNiMo6 podle DIN 17210										
Charakteristika	Velmi namáhané strojní součásti s cementovaným povrchem . Cementovaná vrstva po tepelném zpracování dosahuje na povrchu tvrdosti 62 až 64 HRC, zatímco jádro cementované součásti je i při relativně vysoké pevnosti značně houževnaté. Přísada Mo zvyšuje prokalitelnost, Ocel prokaluje do hloubky přibližně 60 mm. Je vhodná pro dynamicky namáhané součásti.										
Chemické složení v % hmot. (rozbor tavby)	C	Si max.	Mn	P max.	S max.	Cr	Mo	Ni	Al		
	0,15 - 0,21	0,40	0,50 – 0,90	0,035	0,035	1,50 – 1,80	0,25 – 0,35	1,40 – 1,70	Při kontrolované velikosti austenitického zrna 0,015-0,050 (informativně, není uvedeno v normě).		
Dovolené odchylky ve výrobku od rozboru tavby ³⁾	± 0,02	+ 0,03	± 0,04	+ 0,005	+ 0,005	± 0,05	± 0,03 ₅₎	± 0,05			
Mechanické vlastnosti v jádře referenčního vzorku po kalení a popuštění při 150-200 °C (uvedené hodnoty nejsou součástí EN 10084) ¹⁾	Průměr mm		Rp0,2 min MPa		Rm MPa		A min %		Z min %		KCU min. J.cm ⁻²
	d ≤ 11		980		1230 – 1520		9		-		30
	11< d ≤ 25		735		980 – 1320		9		-		35
	25 < d ≤ 50		640		885 - 1080		10		-		35
	50 < d ≤ 100		490		685 - 980		11		-		35

Pásky prokalitelnosti

Tvrdość v HRC

Vzdálenost od kaleného čela v mm

Popouštěcí křivka (referenční vzorek průměr 10 mm)

MPa

Teplota popouštění st.C

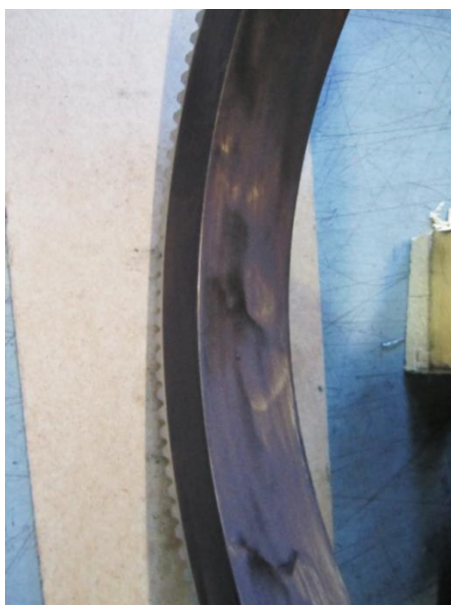
Technologické vlastnosti								
Tváření za tepla	Doporučené rozmezí teplot pro tváření za tepla : 1100 až 900 °C							
Tepelné zpracování	Normalizační žhání °C	Žhání na měkko °C	Isotermické žhání °C	Teplota cementace °C ^{a)}	Teplota kalení na jádro °C ^{b)}	Teplota kalení na vrstvu °C ^{b)}	Teplota popouštění °C ^{c)}	Teplota kalení pro Jominyho zkoušku °C
	850	600 až 680	850 až 950 640 - 3 hod.	880 až 980	830 – 870 olej	780 až 820 olej	150 až 200	880 (prodlouha ca 0,5 h)
	Body přeměny : Ac ₁ ~ 735°C, Ac ₃ ~ 810°C, Ms (základní materiál) ~ 360°C, Ms (cementovaná vrstva) ~ 180°C							
	Uvedené podmínky jsou doporučené. ^{a)} při jednoduchém kalení se ocel kalí z teploty cementace nebo nižší (závisí na tvaru výrobku). ^{b)} mimo oleje přichází v úvahu i teplota lázeň 160 až 250° C. Způsob ochlazování závisí na tvaru výrobku s ohledem na možné deformace po kalení. ^{c)} doba popouštění minimálně 1 hod.							
	Obrobitelnost	Pro dobrou obrobitelnost je výhodný stav FP po případě stav A						
Střihatelnost	Ocel je střihatelná za studena ve stavu žháném							

Obr. 13. Přehled vlastností oceli 18CrNiMo-7-6 [6]

2.5 Tepelné zpracování výrobku

Toto tepelné zpracování je zařazováno po hrubovacích obráběcích operacích, kvůli zjednodušení výroby a aby nebyl odstraňován přebytečný materiál s povrchovou tvrdostí, která je požadovaná zákazníkem. Navrhované ozubené kolo je vyráběno z oceli, kterou je třeba dále tepelně zpracovat. Před samotným kalením je kolo cementováno, kdy je povrch součásti nasycen uhlíkem. Plochy, které nechceme, aby byly nasyceny uhlíkem, je nutné natřít speciální pastou, která nasycení zabrání. Tato ocel obsahuje před cementací 0,15-0,21 % uhlíku a po cementaci se obsah uhlíku pohybuje v rozmezí 0,6-0,8 %. Po cementaci následuje proces kalení, kterým je zvýšena tvrdost materiálu. Po kalení je zařazeno popouštění, kterým dochází k odstraňování vnitřního napětí způsobeného změnou mikrostruktury.

U tohoto výrobku je nutno brát ohled na jeho rozměry. Tím, že je výrobek tenkostěnný, tudíž součást musí být kalená v horizontální poloze, za pomoci speciálního přípravku, abychom dokázali omezit vznik a velikost deformací, které jsou vyvolávány procesem kalení.



Obr. 14. Plocha chráněná pastou



Obr. 15. Uložení výrobků do pece

2.6 Použité stroje

Stroje pro soustružnické operace

TYP STROJE: MORI SEIKI SL 603

Tab. 1. Parametry a údaje o stroji

ZÁKLADNÍ ÚDAJE	
Stroj:	soustruh
Číslo:	2126
Kapacita směn/hod.:	3 / 22,5
Hodinová sazba:	1198 Kč/h
MEZNÍ ROZMĚRY OBROBKU	
Max. ϕ :	900 mm
Max. délka:	2000 mm
PARAMETRY STROJE	
ϕ sklíčidla:	600 mm
ϕ dorazu	ϕ 160 mm
osa x	915 mm
osa z	2000 mm
osa y	ne
osa c	360°
Koník	ano
Počet nástrojů	12
Mimoosé vrtání	ano
Luneta	D150 až D300



Obr. 16. CNC soustruh MORI SEIKI SL 603 [7]

Stroje pro frézování ozubení

TYP STROJE: Pfauter PE 600

Tab. 3. Údaje o frézce

ZÁKLADNÍ ÚDAJE	
Stroj:	odval. frézka
Číslo:	2301
Kapacita směn/h:	2 / 15
Hodinová sazba:	1389 Kč/hod.
MEZNÍ ROZMĚRY OBROBKU	
Max. ϕ :	300 - 800 mm
Max. délka:	250 - 900 mm
Modul	3 - 12 mm



Obr. 17. Odvalovací frézka Pfauter PE 600 [8]

Stroje pro vrtání a výrobu závitů

TYP STROJE: Toyota FH630

Tab. 4. Údaje o obráběcím centru

ZÁKLADNÍ ÚDAJE	
Stroj:	obráběcí centrum
Číslo:	2251
Kapacita směn/hod.:	3 / 22,5h
Hodinová sazba:	1792 Kč/hod.
MEZNÍ ROZMĚRY OBROBKU	
Max. \varnothing :	1000 mm
Max. výška:	950 mm
Max. hmotnost:	1000 kg
X - osa	1000 mm
Y - osa	800 mm
Z - osa	850 mm



Obr. 18. Obráběcí centrum Toyota FH630 [9]

Stroje pro broušení

TYP STROJE: Kehren Ri 8-4

Tab. 5. Údaje o brusce

ZÁKLADNÍ ÚDAJE	
Stroj:	bruska/centrum
Číslo:	2610
Kapacita směn/hod.:	2 / 15h
Hodinová sazba:	2160 Kč/hod.
MEZNÍ ROZMĚRY OBROBKU	
Max. \varnothing :	1200 mm
Max. délka:	650 mm
Max. hmotnost:	1000 kg



Obr. 19. Bruska Kehren Ri 8-4 [10]

TYP STROJE: Reishauer RZ800

Tab. 6. Údaje o odvalovací brusce

ZÁKLADNÍ ÚDAJE	
Stroj:	odval. bruska
Číslo:	2654
Kapacita směn/hod.:	3 / 22,5h
Hodinová sazba:	1936 Kč/hod.
obráběná plocha	boky zubů
MEZNÍ ROZMĚRY OBROBKU	
Max. \varnothing :	150 - 800 mm
Modul	1 - 9 mm



Obr. 20. Odvalovací bruska Reishauer RZ800 [11]

Další stroje používané při výrobě součástí**Popisování kusů****TYP STROJE: Razička SIC C151**

Tab. 7. Údaje o razičce

ZÁKLADNÍ ÚDAJE	
Stroj:	razička
Číslo:	2308
Kapacita směn/h:	3 / 24
Hodinová sazba:	375 Kč/hod.
MEZNÍ ROZMĚRY OBROBKU	
Max. \varnothing :	300 mm
Max. délka:	150 mm
Max. hmotnost:	20 kg



Obr. 21. Razička SIC C151 [12]

Ojehlení kusů

TYP STROJE: Gratomat

Tab. 8. Údaje o gratomatu

ZÁKLADNÍ ÚDAJE	
Stroj:	ojehlení
Číslo:	2254
Kapacita směn/h:	1 / 52,5
Hodinová sazba:	400 Kč/hod.
MEZNÍ ROZMĚRY OBROBKU	
Max. ϕ :	700 mm
Max. délka:	300 mm



Obr. 22. Ojehlovací stroj Gratomat

TYP STROJE: DMC 1150V

Tab. 10. Údaje o centru

ZÁKLADNÍ ÚDAJE	
Stroj:	obráběcí centrum
Číslo:	2260
Kapacita směn/hod.:	2 / 15h
MEZNÍ ROZMĚRY OBROBKU	
Max. ϕ :	1000 mm
Max. hmotnost:	800 kg
X - osa	1150 mm
Y - osa	700 mm
Z - osa	500 mm



Obr. 23. Obráběcí centrum DMC 1150V [13]

Odmagnetování kusů

TYP STROJE: ELB Schliff Perfekt BD15

Tab. 9. Údaje o brusce

ZÁKLADNÍ ÚDAJE	
Stroj:	bruska
Číslo:	2606
Kapacita směn/hod.:	3 / 22,5h
Hodinová sazba:	627 Kč/hod.
obráběná plocha	na plocho
MEZNÍ ROZMĚRY OBROBKU	
Max. ϕ :	550 mm
Max. délka:	1500 mm



Obr. 24. Rovinná bruska ELB Schliff Perfekt BD15 [14]

Stroje pro kontrolu součástí

TYP STROJE: Rissprüfung

Tab. 10. Údaje o stroji

ZÁKLADNÍ ÚDAJE	
Stroj:	UV kontrola
Číslo:	2905
Kapacita směn/h:	1 / 6,75
Hodinová sazba:	400 Kč/hod.
MEZNÍ ROZMĚRY OBROBKU	
Max. ø:	neomezeno
Max. délka:	neomezeno



Obr. 25. UV kontrolní přístroj

TYP STROJE: Klingelnberg PNC 60

Tab. 11. Údaje o stroji

ZÁKLADNÍ ÚDAJE	
Stroj:	měření ozubení
Číslo:	2904
Kapacita směn/h:	2 / 13,5
Hodinová sazba:	900 Kč/hod.
MEZNÍ ROZMĚRY OBROBKU	
Max. ø:	620 mm
Max. délka:	800 / 470 mm
Modul	0,6 - 12



Obr. 26. Přístroj pro měření ozubení

TYP STROJE: Wenzel 3D LH1210

Tab. 12. Údaje o stroji

ZÁKLADNÍ ÚDAJE	
Stroj:	3D měření
Číslo:	2903
Kapacita směn/h:	1 / 7,5
Hodinová sazba:	480 Kč/hod.
MEZNÍ ROZMĚRY OBROBKU	
Max. ø:	1200 mm
Max. délka:	2000 mm
Max. hmotnost:	8000 kg



Obr. 27. 3D měřicí stroj

2.7 Použité nástroje

VBD pro soustružnické operace

CNMG 160616E-RM

Tab. 13. Specifikace destičky

CNMG 160616E-RM

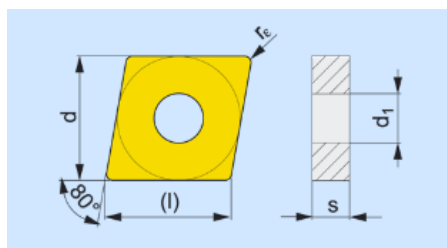
l	16,1 mm
d	15,875 mm
d_1	6,35 mm
s	6,35 mm
r_ϵ	1,6 mm
$f_{ot,min}$	0,3 mm
$f_{ot,max}$	0,8 mm
$a_{p,min}$	2 mm
$a_{p,max}$	8 mm
Materiál	T9315
Povlak	CVD - TiN
v_c	240 - 330 m·min ⁻¹

CNMG 160612NM5

Tab. 14. Specifikace destičky

CNMG 160612NM5

l	16,1 mm
d	15,875 mm
d_1	6,35 mm
s	6,35 mm
r_ϵ	1,2 mm
$f_{ot,min}$	0,25 mm
$f_{ot,max}$	0,5 mm
$a_{p,min}$	1,2 mm
$a_{p,max}$	5 mm
Materiál	WAK10
Povlak	CVD - TiN
v_c	240 - 330 m·min ⁻¹

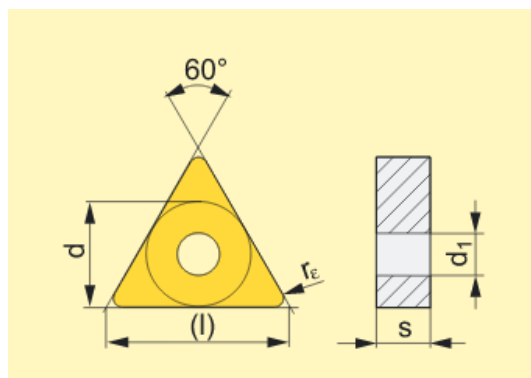


Obr. 28. Hrubovací destička CNMG [15]

TNMG 160408E-FM

Tab. 15. Specifikace destičky TNMG 160408E-FM

l	16,5 mm
d	9,525 mm
d_1	3,81 mm
s	4,76 mm
r_ϵ	0,8 mm
$f_{ot,min}$	0,15 mm
$f_{ot,max}$	0,48 mm
$a_{p,min}$	0,8 mm
$a_{p,max}$	5 mm
Materiál	T9210
Povlak	CVD - TiN
v_c	245 - 320 m·min ⁻¹



Obr. 29. Dokončovací destička vnější TNMG [15]

DNMG 150608E-FM

Tab. 16. Specifikace destičky

DNMG 150608E-FM

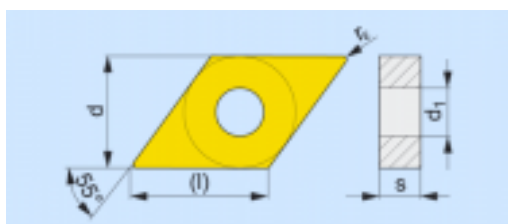
Specifikace	
l	15,5 mm
d	12,7 mm
d_1	5,16 mm
s	6,35 mm
r_ϵ	0,8 mm
$f_{ot,min}$	0,15 mm
$f_{ot,max}$	0,45 mm
$a_{p,min}$	0,8 mm
$a_{p,max}$	3 mm
Materiál	T9315
Povlak	CVD - TiN
v_c	200 - 295 m·min ⁻¹

DNMG 150604E-FM

Tab. 17. Specifikace destičky

DNMG 150604E-FM

Specifikace	
l	15,5 mm
d	12,7 mm
d_1	5,16 mm
s	6,35 mm
r_ϵ	0,4 mm
$f_{ot,min}$	0,1 mm
$f_{ot,max}$	0,24 mm
$a_{p,min}$	0,5 mm
$a_{p,max}$	3 mm
Materiál	T9315
Povlak	CVD - TiN
v_c	195 - 260 m·min ⁻¹

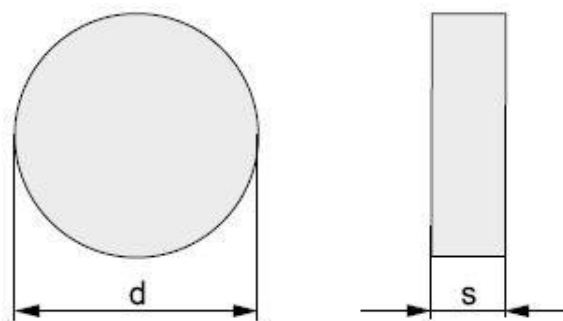


Obr. 30. Dokončovací destička vnitřní DNMG [15]

RMGN 090300BBNC300

Tab. 18. Specifikace destičky RMGN 090300BBNC300

Specifikace	
d	9,525 mm
s	3,19 mm
r_ϵ	0 mm
$f_{ot,min}$	0,15 mm
$f_{ot,max}$	0,6 mm
$a_{p,min}$	0,4 mm
$a_{p,max}$	2,6 mm
Materiál	T9315
v_c	300 - 415 m·min ⁻¹



Obr. 31. Dokončovací destička RMGN [15]

Nástroje pro výrobu ozubení

Odvalovací fréza GLEASON 3gg

- Speciální monolitní povlakovaná fréza vyrobená na zakázku pro hrubování ozubení

Tab. 19. Specifikace frézy 3gg

Ø frézy	90 mm
Délka frézy	140 mm
Délka ozubení	130 mm
Počet chodů	3
Orientace	pravá
Stoupání šroubovice	6,263°
Povlak	TiAlN
Materiál	NO



Obr. 32. Odvalovací fréza 3gg [16]

Šnekový brousicí kotouč Cubitron A80FV1490 pro dokončování ozubení

Tab. 20. Specifikace kotouče A80FV1490

Rozměr kotouče	300x125x160 mm
Modul	3 mm
Počet zubů	55
Úhel záběru	20°
Šířka zubu	32 mm
Počet chodů	3
Upínací průměr	185 mm
v_c	63 m·s ⁻¹



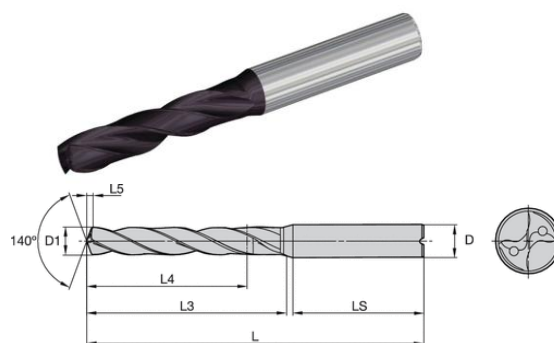
Obr. 33. Šnekový brusný kotouč [16]

Nástroje pro výrobu závitových děr

Pro vrtání děr budou používány univerzální povlakované vrtáky ze slinutého karbidu

Tab. 21. Specifikace vrtáků

Průměr	Ø 6,8 mm	Ø 8,5 mm	Ø 9 mm
L	91 mm	103 mm	103 mm
L ₃	53 mm	61 mm	61 mm
L ₄	43 mm	49 mm	49 mm
L ₅	1,1 mm	1,4 mm	1,5 mm
LS	36 mm	40 mm	40 mm
v_c	50 m·min ⁻¹		
Materiál	KC7315		
Povlak	CVD - TiAlN		



Obr. 34. Univerzální šroubovitý vrták [15]

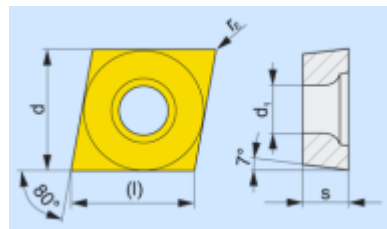
Pro zkosení hran ve vyvrtaných otvorech je používán záhlubník $\varnothing 15$ mm

CCMT 060204 - MPVHS125

Tab. 22. Specifikace destičky

CCMT 060204 - MPVHS125

Specifikace	
l	6,4 mm
d	6,35 mm
d1	2,8 mm
s	2,38 mm
r_ϵ	0,4 mm
$f_{ot,min}$	0,05 mm
$f_{ot,max}$	0,23 mm
$a_{p,min}$	0,2 mm
$a_{p,max}$	2 mm
Materiál	T8330
Povlak	CVD - TiN
v_c	150-265 m·min ⁻¹



Obr. 35. Břítová destička pro záhlubník [15]



Obr. 36. Záhlubník $\varnothing 15$ mm [18]

Pro vyřezání závitů ve vyvrtaných otvorech je používán povlakovaný strojní závitník z rychlořezné oceli

EP2021302-M8/M10

Tab. 23. Specifikace závitníků [x]

Průměr d_1	M8 mm	M10 mm
Stoupání	1,25 mm	1,5 mm
Celková délka	90 mm	100 mm
Délka řezné části	18 mm	20 mm
Průměr stpky	8 mm	10 mm
Materiál	HSS - Co PM	
Povlak	CVD - TiAlN	
v_c	4-8 m·min ⁻¹	



Obr. 37. Strojní závitník [15]



2.8 Obecný postup výroby součásti

Výrobek: Ozubené kolo

Počet kusů: 10

Zákazník: Deckel Maho Gildemeister

- 1) Uvolnění materiálu do výroby
- 2) Soustružení s přídatky před zušlechtěním materiálu
- 3) Žíhání na snížení pnutí
- 4) Soustružení s přídatky pro cementaci a kalení
- 5) Frézování ozubení
- 6) Ojehlení
- 7) Cementace + kalení
- 8) Kontrola deformací po kalení + rovnání zdeformovaných kusů v externí firmě
- 9) Kontrola kusů po rovnání
- 10) Soustružení s přídatky pro broušení
- 11) Vrtání děr + výroba závitů
- 12) Broušení
- 13) Broušení ozubení
- 14) Popisování kusů
- 15) Magnetická zkouška trhlin
- 16) Odmagnetování kusů
- 17) Sražení hran ozubení
- 18) Výstupní kontrola
- 19) Balení + expedice

3. REALIZACE VÝROBY

1. Uvolnění materiálu do výroby

- kontrola rozměrů polotovaru z materiálu 18CrNiMo7-6
- vnější \varnothing 624 mm, vnitřní \varnothing 505 mm, délka 68 mm

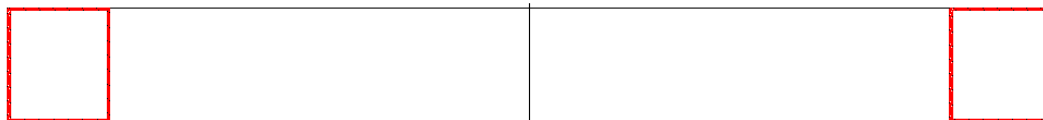


Obr. 38. Polotovar

2. Soustružení s přídavky před zušlechtěním materiálu

- číslo pracoviště: **2126**
- stroj: **MORI SEIKI SL 603**
- vnější soustružnický nůž s VBD **CNMG 160616E-RM**
- vnitřní soustružnický nůž s VBD **CNMG 160616E-RM**
- měřidla: - posuvné měřítko Mitutoyo, rozsah 0 - 750 mm
- posuvné měřítko Mitutoyo, rozsah 0 - 150 mm

- $v_c = 160 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, $f_{ot} = 0,5 \text{ mm}$
- upnutí součásti
- soustružení součásti k dosažení požadovaných rozměrů
- hrubování \varnothing 624 mm v délce 68 mm
- hrubování čela \varnothing 624 mm na \varnothing 505 mm
- otočení součásti
- hrubování čela \varnothing 624 mm na \varnothing 505 mm
- hrubování díry \varnothing 505 mm v délce 68 mm
- úběr 1 - 2 mm materiálu - dle potřeby
- kontrola rozměrů



Obr. 39. Úběr materiálu

3. Žíhání na snížení pnutí

- číslo pracoviště: **2501**
- ohřev materiálu rychlostí 50 C°/h pod teplotu A_{c1}
- výdrž na teplotě 45 minut
- ochlazení v peci v olejové lázni rychlostí 30 C°/h

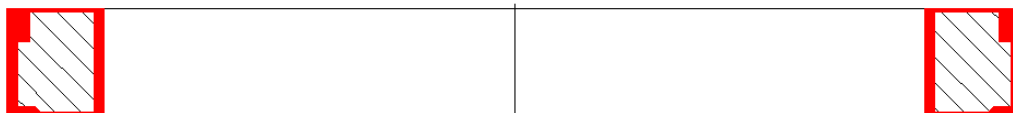
4. Soustružení s přídávky pro cementaci a kalení

- číslo pracoviště: **2126**
- stroj: **MORI SEIKI SL 603**
- nástroj: - vnější hrubovací soustružnický nůž s VBD **CNMG 160612NM5**
 - vnitřní hrubovací soustružnický nůž s VBD **CNMG 160612NM5**
 - vnější dokončovací soustružnický nůž s VBD **TNMG 160408E-FM**
 - vnitřní dokončovací soustružnický nůž s VBD **DNMG 150608E-FM**
- měřidla: - posuvné měřítko Mitutoyo, rozsah 0 - 750 mm
 - posuvné měřítko Mitutoyo, rozsah 0 - 150 mm

- $V_{c\text{ HR}} = 170 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, $f_{ot} = 0,45 \text{ mm}$, $a_p = 3 \text{ mm}$
- $V_{c\text{ DOK}} = 250 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, $f_{ot} = 0,24 \text{ mm}$, $a_p = 1 \text{ mm}$
- upnutí součásti
- hrubování $\varnothing 611,8 \text{ mm}$ v délce 40,2 mm
- hrubování $\varnothing 590 \text{ mm}$ v délce 2,8 mm
- hrubování $\varnothing 596,5 \text{ mm}$ v délce 17,8 mm
- hrubování $\varnothing 518 \text{ mm}$ v délce 61 mm
- otočení součásti
- hrubování čela z $\varnothing 596,5 \text{ mm}$ na $\varnothing 518 \text{ mm}$
- hrubování čela z $\varnothing 590 \text{ mm}$ na $\varnothing 518 \text{ mm}$
- srazit hrany $0,5 \times 45^\circ$
- kontrola rozměrů



Obr. 40. Osoustružená součást



Obr. 41. Úběr materiálu

5. Frézování ozubení

- číslo pracoviště: **2301**

- stroj: **Pfauter PE 600**

- nástroj: odvalovací fréza **GLEASON**

- $v_c = 90 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, $f_{a \text{ ot}} = 0,2 \text{ mm}$, $f_{R \text{ ot}} = 2,5 \text{ mm}$

- upnutí součásti

- hrubování ozubení na $\varnothing 611,8 \text{ mm}$, modul 3, 190 zubů, úhel sklonu zubů 20°

- kontrola rozměru přes 25 zubů: 226,640 - 226,605 mm

- kontrola rozměrů - tisknout diagram



Obr. 42. Úběr materiálu



Obr. 43. Frézování ozubení

6. Ojehlení

- číslo pracoviště: **2455**

- stroj: - **Gratomat**

- ojeřlovací fortuna

- nástroj: - **brusný kotouč**

- **kombinovaná fréza**

- ogehlování ozubení na straně kola bez náboje pomocí gratomatu
- ogehlení ozubení na druhé straně pomocí ruční ogehlovací fortuny

7. Cementace + kalení

- číslo pracoviště: **2501**

- cementovat do hloubky 1,2 - 1,4 mm
- kalit materiál na tvrdost 60 - 62 HRC
- tvrdost jádra 1080 - 1500 N·mm⁻²



Obr. 44. Součást po cementaci a kalení

8. Kontrola deformací po kalení

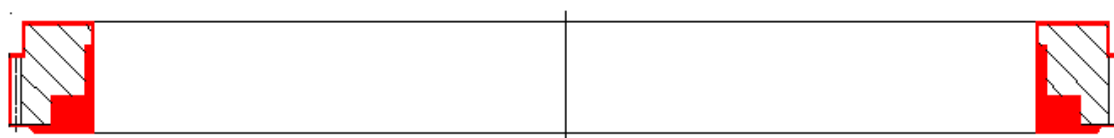
- číslo pracoviště: **2504**
- měřidla:
 - posuvné měřítko Mitutoyo, rozsah 0 - 750 mm
 - posuvné měřítko Mitutoyo, rozsah 0 - 150 mm
 - úchylkoměr Mitutoyo
- kontrola házivosti a ovality pomocí digitálního posuvného měřidla a úchylkoměru
- díly s větší ovalitostí než 0,6 mm po kalení - poslat na rovnání do externí firmy

9. Kontrola kusů po rovnání

- číslo pracoviště: **2901**
- měřidla:
 - posuvné měřítko Mitutoyo, rozsah 0 - 750 mm
 - posuvné měřítko Mitutoyo, rozsah 0 - 150 mm
 - úchylkoměr Mitutoyo
- kontrola házivosti pomocí úchylkoměru
- kontrola ovality pomocí posuvného měřítka, měřit na 10 místech
- označit kusy etiketem

10. Soustružení s přídavky pro broušení

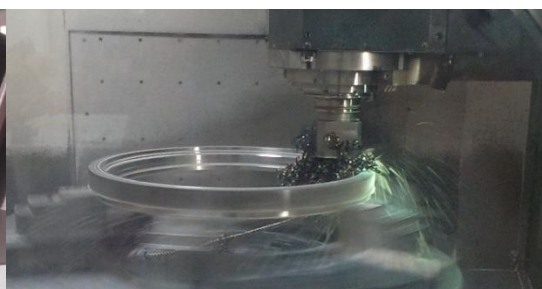
- číslo pracoviště: **2126**
- stroj: **MORI SEIKI SL 603**
- nástroj: - vnější hrubovací soustružnický nůž s VBD **CNMG 160612NM5**
 - vnitřní hrubovací soustružnický nůž s VBD **CNMG 160612NM5**
 - vnější dokončovací soustružnický nůž s VBD **RMGN 090300BBNC300**
 - vnitřní dokončovací soustružnický nůž s VBD **DNMG 150604E-FM**
- měřidla: - posuvné měřítko Mitutoyo, rozsah 0 - 750 mm
 - posuvné měřítko Mitutoyo, rozsah 0 - 150 mm
- $V_c \text{ HR} = 150 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, $f_{ot} = 0,3 \text{ mm}$, $a_p = 2 \text{ mm}$
- $V_c \text{ DOK} = 220 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, $f_{ot} = 0,2 \text{ mm}$, $a_p = 0,5 \text{ mm}$
- upnutí součásti
- dokončování $\varnothing 610,61 \text{ mm}$ v délce 40 mm
- hrubování $\varnothing 565 \text{ mm}$ v délce 16 mm
- dokončování $\varnothing 592,2 \text{ mm}$ v délce 15,2 mm
- hrubování $\varnothing 528 \text{ mm}$ v délce 27 mm
- sražení hran dle výkresu
- otočení výrobku
- hrubování $\varnothing 521,2 \text{ mm}$ v délce 14 mm
- sražení hran dle výkresu
- kontrola rozměrů



Obr. 45. Úběr materiálu



Obr. 46. Osoustružená součást



Obr. 47. Soustružení součásti

11. Vrtání + výroba závitů

- číslo pracoviště: **2251**
- stroj: **Toyota FH630**
- nástroj: - universální vrták z SK $\varnothing 6,8$ mm, $\varnothing 8,5$ mm, $\varnothing 9$ mm - $v_c = 50 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$,
 $f_{ot} = 0,175 \text{ mm}$
 - záhlubník $\varnothing 15$ mm - $v_c = 45 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, $f_{ot} = 0,09 \text{ mm}$
 - strojní závitník **EP2021302 - M8** - $v_c = 7 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, $f_{ot} = 1,25 \text{ mm}$
- měřidla: - posuvné měřítko Mitutoyo, rozsah 0 - 150 mm
- upnutí součásti
- vrtání 48 děr $\varnothing 9$ mm v délce 39 mm, poloha dle výkresu
- zahloubení 48 děr $\varnothing 15$ mm v délce 9 mm
- vrtání 3 děr $\varnothing 6,8$ mm v délce 39 mm, poloha dle výkresu
- řezání 3 závitů M8 v délce 20 mm
- sražení hran v dírách $1 \times 45^\circ$



Obr. 48. Úběr materiálu



Obr. 49. Vyvrtané díry na součásti

12. Broušení

- číslo pracoviště: **2610**
- stroj: **Kehren Ri 8-4**
- nástroj: - brusný kotouč Cubitron pro broušení válcových ploch
 - dokončovací soustružnický nůž s VBD **DNMG 150604E-FM**
- měřidla: - digitální posuvné měřítko Mitutoyo, rozsah 0 - 750 mm

- broušení: $v_c = 35 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, $f = 0,03 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$, rychlost otáčení stolu: $40 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$
- soustružení: $v_c \text{ DOK} = 220 \text{ m/min}$, $f_{ot} = 0,2 \text{ mm}$, $a_p = 0,1 \text{ mm}$
- upnutí součásti
- ustavit do házivosti 0,015 mm
- broušení díry $\varnothing 522 \text{ mm}$
- broušení náboje $\varnothing 595 \text{ mm}$
- soustružení čela z $\varnothing 557 \text{ mm}$ na $\varnothing 535 \text{ mm} \times 0,1 \text{ mm}$ (detail Z)
- srazit hrany dle výkresu
- kontrola rozměrů

13. Broušení zubů

- číslo pracoviště: **2654**
- stroj: **Reishauer RZ800**
- nástroj: **kotouč Cubitron A80FV1490**

- $v_c = 60 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, $f = 0,025 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$
- pro upnutí součásti použít speciální přípravek
- ustavit obrobek do obvodové házivosti 0,01 mm
- broušení zubů, $m = 3$, sklon zubů 20° , $z = 190$
- měření přes 25 zubů, rozměr = 225,81 - 225,74 mm
- kontrola rozměrů ozubení - tisknout diagram



Obr. 50. Přípravek pro broušení ozubení



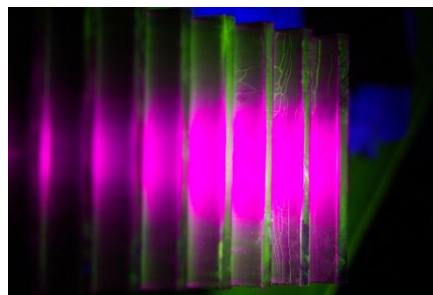
Obr. 51. Obroušené ozubení

14. Popisování kusů

- číslo pracoviště: **2308**
- stroj: **Razička SIC C151**
- nástroj: **razící hrot**
- ražení informací: číslo výkresu, série, tavba materiálu, podpis Novogearu (N)
- vyrazit na levé straně výrobku
- vizuální kontrola správnosti označení

15. Magnetická zkouška trhlin

- číslo pracoviště: **2905**
- kontrolovat ozubení pro možný vznik trhlin



Obr. 52. Magnetická zkouška trhlin



16. Odmagnetování

- číslo pracoviště: **2606**
- stroj: **ELB Schliff Perfekt BD15**
- měřidla: - přístroj pro měření magnetického pole
- odmagnetovat kusy od zbytkového magnetismu
- maximální magnetismus = 4 A/cm
- kontrola magnetismu pomocí daného přístroje

17. Sražení hran ozubení

- číslo pracoviště: **2260**
- stroj: **ruční ojhlovací fortuna**
- nástroj: **kombinovaná fréza**
- sražení hrany na ozubení na straně náboje pomocí ruční fortuny, srazit hranu 0,5x45°
- kontrola sražení hrany na druhé straně ozubení po gratomatu v operaci číslo 6.
- hrany na ozubení ofílcovat
- kusy umýt v petroleji

18. Kontrola

- číslo pracoviště: **2903**
- měřicí stroj: **Wenzel 3D LH1210**
- kontrola všech rozměrů součástí
- kontrola magnetismu
- kontrola ovalitosti a házivosti

19. Balení + expedice

- balit dle balicího předpisu
- přiložit dokumenty: materiálový atest, diagram zubů, cementační protokol, protokol z magnetické zkoušky trhlín

4. TECHNICKO - EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ NÁVRHU

V ekonomické zhodnocení výroby jsou do kalkulace zahrnuty náklady spojené s výrobou součásti. Jedná se o náklady za materiál, náklady na obrábění a tepelné zpracování součásti a další náklady, které je potřeba započíst do ceny výrobku. Při výpočtu nákladů u jednotlivých operací musíme zahrnout jak samotný čas nutný pro výrobu danou operací, tak i čas potřebný pro přichystání a seřízení strojů, nástrojů, měřidel. Čas pro obrábění u dané operace vypočteme ze vzorce pro výpočet strojního času.

Ukázka výpočtu strojního času pro jeden krok - soustružení válcové plochy

V tomto výpočtu bude počítán strojní čas pro dokončování $\varnothing 610,61$ mm v délce 40 mm

Řezné podmínky: $V_c \text{ DOK} = 220 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, $f_{ot} = 0,2 \text{ mm}$, $a_p = 0,5 \text{ mm}$

Z řezné rychlosti zjistíme otáčky pro aktuálně obráběný průměr součásti

$$V_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \rightarrow n = \frac{V_c \cdot 1000}{\pi \cdot D} = \frac{220 \cdot 1000}{3,14 \cdot 610,61} = 114,74 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1}$$

Délka náběhu a přeběhu byla zvolena 1,5 mm, celková délka obrábění je tedy 43 mm

$$T_{as} = \frac{L}{n \cdot f} = \frac{43}{114,74 \cdot 0,2} = 1,87 \text{ min} \rightarrow 1 \text{ min } 52 \text{ s}$$

Náklady pro jednotlivé operace

- výsledné náklady = potřebný čas · sazba stroje

1) Polotovary

- cena jednoho polotovaru: 4176,7 Kč
- celková cena pro zakázku 10 kusů: 41767 Kč

2) Soustružení s přídavky před zušlechtním materiálu

- hodinová sazba: 1198 Kč
- doba příprav: 120 min
- doba obrábění jednoho kusu: 14 min
- doba obrábění 10 kusů: 140 min
- náklady na jeden kus: $2396 \text{ Kč} + 279 \text{ Kč} = 2675 \text{ Kč}$
- náklady na 10 kusů: $2396 \text{ Kč} + 2795 \text{ Kč} = 5191 \text{ Kč}$

3) Zušlechtním materiálu

- hodinová sazba: 840 Kč
- délka operace: 45 min
- náklady na jeden kus: 630 Kč
- náklady na 10 kusů: 6300 Kč

4) Soustružení s přídavky pro cementaci a kalení

- hodinová sazba: 1198 Kč
- doba příprav: 170 min
- doba obrábění jednoho kusu: 28 min
- doba obrábění 10 kusů: 280 min
- náklady na jeden kus: $3394,3 \text{ Kč} + 559 \text{ Kč} = 3953 \text{ Kč}$
- náklady na 10 kusů: $3394,3 \text{ Kč} + 5590 \text{ Kč} = 8985 \text{ Kč}$

5) Frézování ozubení

- hodinová sazba: 1389 Kč
- doba příprav: 60 min
- doba obrábění jednoho kusu: 16 min
- doba obrábění 10 kusů: 160 min
- náklady na jeden kus: $1389 \text{ Kč} + 370 \text{ Kč} = 1759 \text{ Kč}$
- náklady na 10 kusů: $1389 \text{ Kč} + 3700 \text{ Kč} = 5093 \text{ Kč}$

6) Ojehlení

- hodinová sazba: 400 Kč
- doba příprav: 15 min
- doba obrábění jednoho kusu: 12 min
- doba obrábění 10 kusů: 120 min
- náklady na jeden kus: $100 \text{ Kč} + 80 \text{ Kč} = 180 \text{ Kč}$
- náklady na 10 kusů: $100 \text{ Kč} + 800 \text{ Kč} = 900 \text{ Kč}$

7) Cementace + kalení

- hodinová sazba: 840 Kč
- náklady na jeden kus: 1298,5 Kč
- náklady na 10 kusů: 12985 Kč

8) Kontrola deformací po kalení + rovnání zdeformovaných kusů v externí firmě

- hodinová sazba: 350 Kč
- doba příprav: 5 min
- doba rovnání a kontroly jednoho kusu: 2 min
- doba rovnání a kontroly 10 kusů: 20 min
- náklady na jeden kus: $28,3 \text{ Kč} + 11,3 \text{ Kč} = 39,6 \text{ Kč}$
- náklady na 10 kusů: $28,3 \text{ Kč} + 113 \text{ Kč} = 141,3 \text{ Kč}$

9) Kontrola kusů po rovnání

- hodinová sazba: 450 Kč
- doba kontroly jednoho kusu: 30 min
- doba kontroly 10 kusů: 300 min
- náklady na jeden kus: 240 Kč
- náklady na 10 kusů: 2400 Kč

10) Soustružení s přídavky pro broušení

- hodinová sazba: 1198 Kč
- doba příprav: 150 min
- doba obrábění jednoho kusu: 69 min
- doba obrábění 10 kusů: 690 min
- náklady na jeden kus: $2995 \text{ Kč} + 1377,7 \text{ Kč} = 4372,7 \text{ Kč}$
- náklady na 10 kusů: $2995 \text{ Kč} + 13777 \text{ Kč} = 16772 \text{ Kč}$

11) Vrtání děr + výroba závitů

- hodinová sazba: 1936 Kč
- doba příprav: 90 min
- doba obrábění jednoho kusu: 64 min
- doba obrábění 10 kusů: 640 min
- náklady na jeden kus: $2904 \text{ Kč} + 2065 \text{ Kč} = 4969 \text{ Kč}$
- náklady na 10 kusů: $2904 \text{ Kč} + 20650 \text{ Kč} = 23554 \text{ Kč}$

12) Broušení

- hodinová sazba 2160 Kč
- doba příprav: 90 min
- doba obrábění jednoho kusu: 50 min
- doba obrábění 10 kusů: 50 min
- náklady na jeden kus: $3240 \text{ Kč} + 1800 \text{ Kč} = 5040 \text{ Kč}$
- náklady na 10 kusů: $3240 \text{ Kč} + 18000 \text{ Kč} = 21240 \text{ Kč}$

13) Broušení ozubení

- hodinová sazba: 1936 Kč
- doba příprav: 90 min
- doba obrábění jednoho kusu: 70min
- doba obrábění 10 kusů: 700 min
- náklady na jeden kus: $2904 \text{ Kč} + 2258,6 \text{ Kč} = 5162,6 \text{ Kč}$
- náklady na 10 kusů: $2904 \text{ Kč} + 22586 \text{ Kč} = 25490,7 \text{ Kč}$

14) Popisování kusů

- hodinová sazba: 375 Kč
- doba příprav: 15 min
- doba značení jednoho kusu: 2 min
- doba značení 10 kusů: 20 min
- náklady na jeden kus: $93,75 \text{ Kč} + 12,5 \text{ Kč} = 106,25 \text{ Kč}$
- náklady na 10 kusů: $93,75 \text{ Kč} + 125 \text{ Kč} = 218,75 \text{ Kč}$

15) Magnetická zkouška trhlin

- hodinová sazba: 400 Kč
- doba příprav: 15 min
- doba zkoušení jednoho kusu: 4 min
- doba zkoušení 10 kusů: 40 min
- náklady na jeden kus: $100 \text{ Kč} + 26,67 \text{ Kč} = 126,67 \text{ Kč}$
- náklady na 10 kusů: $100 \text{ Kč} + 266,7 \text{ Kč} = 366,7 \text{ Kč}$

16) Odmagnetování kusů

- hodinová sazba: 627 Kč
- doba příprav: 15 min
- doba obrábění jednoho kusu: 1 min
- doba obrábění 10 kusů: 10 min
- náklady na jeden kus: $156,75 \text{ Kč} + 10,45 \text{ Kč} = 167,2 \text{ Kč}$
- náklady na 10 kusů: $156,75 \text{ Kč} + 104,5 \text{ Kč} = 261,25 \text{ Kč}$

17) Sražení hran ozubení

- hodinová sazba stroje: 375 Kč
- doba příprav: 0 min
- doba obrábění jednoho kusu: 95 min
- doba obrábění 10 kusů: 950 min
- náklady na jeden kus: $0 \text{ Kč} + 593,75 \text{ Kč} = 593,75 \text{ Kč}$
- náklady na 10 kusů: $0 \text{ Kč} + 5937,5 \text{ Kč} = 5937,5 \text{ Kč}$

18) Výstupní kontrola

- hodinová sazba: 480 Kč
- doba příprav: 0 min
- doba obrábění jednoho kusu: 20 min
- doba obrábění 10 kusů: 20 min
- náklady na jeden kus: $0 \text{ Kč} + 144 \text{ Kč} = 144 \text{ Kč}$
- náklady na 10 kusů: $0 \text{ Kč} + 1440 \text{ Kč} = 1440 \text{ Kč}$

Celková částka na výrobu jednoho kusu činí **36804 Kč**

Celková částka na výrobu 10 kusů činí **175294,6 Kč**

5. ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo navrhnout nový technologický postup výroby ozubeného kola ve spolupráci s firmou NOVOGEAR, spol. s r.o. pro zákazníka Deckel Maho Gildemeister.

V teoretické části práce je popsána problematika spojená s výrobou čelního ozubení. Jsou zde popsány jednotlivé metody výroby i dokončování ozubení. Tyto metody se vzájemně od sebe liší náročností, přesností, produktivitou a nákladností výroby.

Praktická část se zabývá kompletním návrhem všech potřebných prostředků pro realizaci výroby. Nejprve je vybrán vhodný materiál pro výrobu součásti. Jelikož výrobek bude značně namáhan, byla zvolena kvalitní ocel 18CrNiMo7-6, která je vhodná pro velmi namáhané strojní součásti. Samotná ocel nemá požadované vlastnosti, proto bylo navrženo i tepelné zpracování jak polotovaru, tak i samotné součásti. V další části praktické části práce jsou navrženy vhodné stroje, nástroje, přípravky a měřicí přístroje, které jsou používány při výrobě součásti.

V dalším bodě práce je popsán samotný výrobní postup zadané součásti. Jsou zde popsány jednotlivé operace po krocích, a co je v daném kroku vykonáváno. Dále postup obsahuje jaké stroje, nástroje, měřidla a jaké přípravky jsou používány v dané operaci a rovněž jsou zde navrženy řezné podmínky u obráběcích operací.

V poslední části práce se nachází technicko-ekonomické zhodnocení výroby. Je zde počítáno s hodinovou sazbou stroje a dobou potřebnou k realizaci operace na daném stroji. Po celkové kalkulaci výroby činí náklady pro jeden kus 36804 Kč a náklady na celou zakázku deseti kusů činí 175294,6 Kč.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1.	Čelní soukolí
Obrázek 2.	Výroba ozubení dělicím způsobem
Obrázek 3.	Výroba ozubení odvalovacím způsobem
Obrázek 4.	Výroba ozubení hřebenovým nožem
Obrázek 5.	Výroba ozubení kotoučovým nožem
Obrázek 6.	Výroba ozubení protahováním
Obrázek 7.	Dokončování ozubení - ševingování
Obrázek 8.	Dokončování ozubení - broušení dělicím způsobem
Obrázek 9.	Dokončování ozubení - broušení odvalovacím způsobem
Obrázek 10.	Dokončování ozubení - honování
Obrázek 11.	Dokončování ozubení - lapování
Obrázek 12.	Čelní soukolí
Obrázek 13.	Přehled vlastností oceli
Obrázek 14.	Plocha chránění pastou
Obrázek 15.	Uložení výrobků do pece
Obrázek 16.	CNC soustruh MORI SEIKI SL 603
Obrázek 17.	Odvalovací frézka Pfauter PE 600
Obrázek 18.	Obráběcí centrum Toyoda FH630
Obrázek 19.	Bruska Kehren Ri 8-4
Obrázek 20.	Odvalovací bruska Reishauer RZ800
Obrázek 21.	Razíčka SIC C151
Obrázek 22.	Ojehlovací stroj Gratomat
Obrázek 23.	Obráběcí centrum DMC 1150V
Obrázek 24.	Rovinná bruska ELB Schliff Perfekt BD15
Obrázek 25.	UV kontrolní přístroj
Obrázek 26.	Přístroj pro měření ozubení
Obrázek 27.	3D měřicí stroj
Obrázek 28.	Hrubovací destička CNMG
Obrázek 29.	Dokončovací destička vnější TNMG
Obrázek 30.	Dokončovací destička vnitřní DNMG
Obrázek 31.	Dokončovací destička RMGN
Obrázek 32.	Odvalovací fréza



Obrázek 33.	Šnekový brusný kotouč
Obrázek 34.	Universální šroubovitý vrták
Obrázek 35.	Břitová destička pro záhlubník
Obrázek 36.	Záhlubník
Obrázek 37.	Strojní závitník
Obrázek 38.	Polotovár
Obrázek 39.	Úběr materiálu
Obrázek 40.	Osoustružená součást
Obrázek 41.	Úběr materiálu
Obrázek 42.	Úběr materiálu
Obrázek 43.	Frézování ozubení
Obrázek 44.	Součást po cementaci a kalení
Obrázek 45.	Úběr materiálu
Obrázek 46.	Osoustružená součást
Obrázek 47.	Soustružení součásti
Obrázek 48.	Úběr materiálu
Obrázek 49.	Vyvrtné díry na součásti
Obrázek 50.	Přípravek pro broušení ozubení
Obrázek 51.	Obroušené ozubení
Obrázek 52.	Magnetická zkouška trhlin

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] *Výroba ozubení - frézování* [online]. [cit. 2016-05-04]. Dostupné z: http://domes.spssbrno.cz/web/DUMy/STT,%20KOM/VY_32_INOVACE_19-19.pdf
- [2] *HUMÁR, A. TECHNOLOGIE I TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ – 2. část. Studijní opory pro magisterskou formu studia "Strojírenská technologie". Brno: VUT Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2004. 94 s. Dostupné na World Wide Web: <http://www.fme.vutbr.cz/opory/pdf/TI_TO-2cast.pdf>.*
- [3] *Dokončovací operace ozubení - broušení odvalovacím způsobem* [online]. [cit. 2016-05-04]. Dostupné z: <http://invitel.hu/gytibo/regi%20gytibo/Reishauer.htm>
- [4] *Dokončovací operace ozubení - honování* [online]. [cit. 2016-05-04]. Dostupné z: <http://infocube.cz/cs/inovativni-honovaci-cnc-stroj-urychli-vyrobu-presnych-ozubenych-kol/>
- [5] *Dokončovací operace ozubení - lapování* [online]. [cit. 2016-05-04]. Dostupné z: <http://www.amtechinternational.com/gear-lapping-grinding-services/>
- [6] *Materiálový list Bolzano* [online]. [cit. 2016-05-04]. Dostupné z: <http://www.bolzano.cz/cz/technicka-podpora/technicka-prirucka/tycove-oceli-uhlikove-konstrukcni-a-legovane/oceli-k-cementovani-podle-en-10084/prehled-vlastnosti-oceli-18crnimo7-6>
- [7] *CNC soustruh MORI SEIKI SL 603* [online]. [cit. 2016-05-09]. Dostupné z: <http://us.dmgmori.com/products/lathes/universal-lathes/sl/sl-603>
- [8] *Odvalovací frézka Pfauter PE 600* [online]. [cit. 2016-05-09]. Dostupné z: <http://www.gleason.com/products/it/74/70/p-600-es>
- [9] *Obráběcí centrum Toyoda FH630* [online]. [cit. 2016-05-09]. Dostupné z: <http://toyodausa.com/machines/horizontal-machining-centers/630-mm-pallet/fh630sx/>
- [10] *Bruska Kehren Ri 8-4* [online]. [cit. 2016-05-09]. Dostupné z: http://expo21xx.com/automation21xx/20687_st3_cnc_machine_tool/default.htm
- [11] *Odvalovací bruska Reishauer RZ800* [online]. [cit. 2016-05-09]. Dostupné z: <http://www.eins.com.br/data/pt/uploads/representacoes/4/8116c9f9e53100d5aeefdb89af9a86c2.pdf>
- [12] *Razička SIC C151* [online]. [cit. 2016-05-09]. Dostupné z: <https://www.logismarket.com.ar/full-mark/marcaje-por-puntos/1494550975-1334942647-p.html>
- [13] *Obráběcí centrum DMC 1150V* [online]. [cit. 2016-05-09]. Dostupné z: <http://cz.dmgmori.com/products/milling-machines/vertical-machining-centres/dmc-v/dmc-1150-v>



- [14] *Rovinná bruska ELB Schliff Perfekt BD15* [online]. [cit. 2016-05-09]. Dostupné z: <https://www.surplex.com/de/m/7/elb-perfekt-bd-15-cnc-flach-und-profilschleifmaschine-150292.html>
- [15] *ECatalog Pramet Tools s.r.o.* [online]. [cit. 2016-05-09]. Dostupné z: <http://ecat.pramet.com/default.aspx>
- [16] *Odvalovací fréza 3gg* [online]. [cit. 2016-05-09]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/zvyseni-zivotnosti-odvalovacich-frez.html>
- [17] *Šnekový brusný kotouč* [online]. [cit. 2016-05-09]. Dostupné z: <http://www.directindustry.com/prod/naxos-diskus/product-84447-1035063.html>
- [18] *Záhlubník ø15 mm* [online]. [cit. 2016-05-09]. Dostupné z: <http://www.verko.cz/frezovaci-zahlubnik-s-vbd-stavitelny-0-90-spmt-12t-14350/>



SEZNAM PŘÍLOH

- příloha č.1 Výrobní výkres součásti